

## Penentuan Hubungan Laju-Aliran Lalu Lintas Jalan Arteri

Ahmad Raqib Ab. Ghani, Wan Hashim Wan Ibrahim dan Ahmad Farhan Mohd Sadullah

Jabatan Kejuruteraan Pengangkutan, Geoteknik dan Geomatik  
Fakulti Kejuruteraan Awam dan Alam Sekitar,  
Kolej Universiti Teknologi Tun Hussein Onn,  
86400 Parit Raja, Bt. Pahat,  
Johor Darul Takzim.

Received Date: 5<sup>th</sup> May 2005    Accepted Date: 21<sup>st</sup> June 2006

---

### ABSTRAK

Sehingga kini, tiada hubungan di antara laju dan aliran lalu lintas dilaporkan secara rasmi untuk jalan arteri di Malaysia. Laporan Traffic Study Malaysia hanya menunjukkan hubungan laju dan aliran lalu lintas untuk jalan yang keadaan aliran lalu lintasnya tidak terganggu oleh kesan lampu isyarat. Jalan arteri pula merupakan jalan yang mempunyai persimpangan berlampu isyarat yang jaraknya 3 km atau kurang dan membawa isipadu lalu lintas yang mempunyai pergerakan terus yang tinggi. Kajian ini dijalankan ke arah menghasilkan hubungan di antara laju dan aliran lalu lintas untuk jalan arteri di Malaysia. Hubungan ini diperoleh dengan menggunakan model-model aliran lalu lintas yang sedia ada. Tujuan khusus kajian ini adalah untuk menentukan model yang paling sesuai dengan keadaan lalu lintas di Malaysia. Hubungan laju dan aliran lalu lintas merupakan suatu parameter penting dalam aspek perancangan dan pemodelan pengangkutan. Untuk kajian ini, data laju perjalanan dan aliran lalu lintas diambil untuk jalan-jalan yang telah dikenal pasti. Semua data yang diperoleh telah dikumpulkan dan analisis dibuat berdasarkan Model Greenshields, Model Greenberg, Model Underwood dan Model Drake. Keputusan kajian telah menunjukkan Model Underwood adalah paling sesuai untuk menggambarkan hubungan laju dan aliran lalu lintas bagi keadaan jalan raya di Malaysia. Data laju aliran bebas yang dicerap di lapangan juga dibandingkan dengan nilai laju aliran bebas yang diramalkan oleh setiap model.

Kata kunci: Laju, jalan arteri, aliran lalu lintas, Model Greenshields, Model Underwood, Model Drake, Model Greenberg Terubahsuai

### ABSTRACT

*Presently, there is no published relationship between speed and traffic flow for arterial road in Malaysia. Report on Traffic Study Malaysia indicates the relationships of speed and traffic flows for uninterrupted flow facilities. An arterial road is a road consisting of traffic light junctions within 3 km distance or less and carrying high through traffic volume. This study is conducted towards producing the relationships between speed and traffic flow for arterial roads in Malaysia. The speed-flow relationships was developed using an existing traffic flow*

model. The specific aim of this study is to determine which model is appropriate with respect to Malaysian traffic characteristics. The relationships of speed and traffic flow are two parameters that are very important for planning and modeling of transportation facilities. In this study, travel speed and traffic flow were collected at several selected sites. The collected data were analyzed based on Greenshields, Greenberg, Underwood and Drake Models. The results of the analysis study has shown that Underwood Model is the most suitable model that can be used to define the relationships between speed and traffic flow based on Malaysian road condition. The data of observed free-flow speed in the field were also compared with predicted free-flow speed by each model.

**Kata kunci:** Speed, Arterial road, traffic flow, Greenshields Model, Underwood Model, Drake Model, Modified Greenberg Model

## PENGENALAN

Kajian ke atas jalan arteri ini dibuat selaras dengan cadangan kajian masa hadapan oleh laporan *Traffic Study Malaysia* (Perunding Lee & Rakan et al. 1996). Kajian telah dicadangkan untuk dibuat di jalan yang mengalami kesesakan lalu lintas di kawasan bandar. Kajian perlu dijalankan untuk meningkatkan pemahaman mengenai kapasiti dan prestasi aliran lalu lintas sewaktu keadaan sesak. Ia juga boleh digunakan untuk membuat penilaian terhadap hubungan laju-aliran di jalan luar bandar yang telah dihasilkan melalui laporan tersebut. Hasil kajian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh para jurutera lalu lintas dan ahli perancang bandar di Malaysia dalam kerja perancangan, penilaian dan pemodelan pengangkutan. Penilaian jalan arteri perlu dilakukan untuk mengetahui aras perkhidmatannya yang sebenar. Kajian ini juga diharapkan menjadi suatu rujukan penting dalam kajian-kajian akan datang mengenai jalan arteri di negara kita. Jalan arteri dipilih untuk kajian ini kerana ianya merupakan jalan di kawasan bandar dan seringkali mengalami masalah kesesakan lalu lintas terutamanya pada waktu puncak. Objektif kajian dijalankan ialah untuk:

- (1) Menentukan kesesuaian model laju aliran lalu lintas untuk keadaan jalan arteri di Malaysia.
- (2) Mendapatkan hubungan antara kelajuan dan aliran lalu lintas untuk jalan arteri berdasarkan keadaan jalan raya di Malaysia.
- (3) Membandingkan nilai laju aliran bebas di lapangan dengan laju aliran bebas daripada model yang telah dikenalpasti.

## KAJIAN KEPUSTAKAAN

Jalan arteri merupakan jalan utama yang menghubungkan tempat serta lokasi yang penting. Jalan arteri telah didefinisikan sebagai jalan yang mempunyai beberapa persimpangan berlampu isyarat dan jarak antara 2 lampu isyarat biasanya adalah 3 km atau kurang dan fungsi utamanya adalah untuk menyediakan aliran lalu lintas terus manakala menyediakan laluan masuk ke kawasan bersebelahan adalah merupakan fungsinya yang kedua (*Highway Capacity Manual* 2000). Menurut laporan awal kajian lalu lintas bagi Malaysia (Perunding Lee & Rakan et al. 1996), jalan arteri di Malaysia dikelaskan dalam kategori jalan bandar dan dikawal selia oleh kerajaan negeri. Penentuan hubungan laju-aliran lalu lintas merupakan fokus utama kajian ini. Perhubungan laju ( $v$ ), aliran ( $Q$ ) dan ketumpatan ( $D$ ) boleh diringkaskan seperti berikut:

$$Q = vD$$

dengan

$$\begin{aligned} Q &= \text{aliran lalu lintas (ukp/jam/ lorong)} \\ v &= \text{laju (km/jam)} \\ D &= \text{ketumpatan lalu lintas (ukp/km/} \\ &\quad \text{lorong)} \end{aligned}$$

Persamaan laju-ketumpatan untuk Model Greenshields adalah berbentuk persamaan linear (2), Model Greenberg adalah berbentuk logaritma (persamaan 3), Model Underwood adalah berbentuk persamaan eksponen (4) dan Model Drake adalah berbentuk persamaan eksponen (5).

$$v = v_f - \left( \frac{v_f}{D_j} \right) D \quad (2)$$

$$v = v_o \ln \left( \frac{D_j}{D} \right) \quad (3)$$

$$v = v_f \exp \left( \frac{-D}{D_o} \right) \quad (4)$$

$$v = v_f \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{D}{D_o} \right)^2 \right) \quad (5)$$

dengan

$v$  = laju (km/jam)

$v_f$  = laju aliran bebas

$D_o$  = ketumpatan optimum (ukp/ km/lorong)

$D_j$  = ketumpatan sesak (ukp/km/lorong)

$D$  = ketumpatan lalu lintas (ukp/km/lorong)

Pada umumnya, perhubungan laju dan aliran lalu lintas boleh digunakan dalam pemodelan pengangkutan dalam analisis permintaan dan penawaran (Ortuzar & Willumsen 1995). Kajian hubungan laju-aliran lalu lintas sebenarnya telah dibuat di Malaysia oleh Perunding Lee & Rakan et al. (1996). Walau bagaimanapun, kajian ini hanya dilakukan di lebuh raya dan jalan raya luar bandar yang lebih berbentuk jalan raya kurang gangguan. Antara objektif kajian ini ialah untuk mendapatkan hubungan laju- aliran dan nilai laju aliran bebas. Data laju dan aliran lalu lintas dengan sela masa 5 minit dicerap dengan menggunakan tiub pneumatik (berjarak 3 m) dan kamera video di dua stesen yang jarak antara 1km dengan 2.5km. Kaedah pepadanan nombor pendaftaran telah digunakan untuk mendapatkan masa perjalanan antara 2 stesen tersebut. Nilai laju perjalanan diperoleh dengan membahagikan jarak perjalanan dengan masa perjalanan. Sebanyak 9 lokasi kajian telah dipilih untuk kajian ini. Masa pemerhatian adalah di antara 7 sehingga 9 jam untuk setiap lokasi.

Model Underwood dan Greenshields masing-masing dalam Persamaan (6) dan (7) telah digunakan untuk analisis laju-aliran lalu lintas. Persamaan laju-ketumpatan untuk kedua-dua

model ditunjukkan di bawah. Nilai laju aliran bebas yang digunakan adalah nilai untuk lebuh raya PLUS iaitu 90 km/j.

$$v = 90 \exp \left( \frac{-D}{D_o} \right) \quad (6)$$

$$v = 90 \left( 1 - \frac{D}{D_j} \right) \quad (7)$$

dengan

$v$  = laju (km/jam)

$D$  = ketumpatan lalu lintas (ukp/ km/lorong)

$D_o$  = ketumpatan optimum lalu lintas (ukp/ km/lorong)

Hubungan laju-aliran yang diperoleh berupaya untuk meramalkan kapasiti jalan mengikut jenis. Jadual 1 menunjukkan nilai kapasiti jalan mengikut jenis di Malaysia. Menurut Lum et al. (1998), kajian secara komprehensif di Singapura telah dijalankan terhadap lima buah jalan arteri (3 jalan jejarian dan 2 jalan lingkaran). Jalan jejarian menghubungkan pusat bandar dengan kawasan sekitarnya manakala jalan lingkaran membawa aliran lalu lintas di persisiran pusat bandar tanpa memasukinya. Data laju-aliran lalu lintas telah dicerap selama 6 jam iaitu 4 jam (0730-0930 dan 1700-1900) pada waktu puncak dan 2 jam (1030-1230) pada waktu bukan puncak.

Data laju dan aliran yang telah dicerap kemudiannya dianalisis dengan menggunakan kaedah regresi. Nilai pekali penentuan berganda ( $R^2$ ) terubahsuai telah digunakan untuk menentukan model yang paling sesuai dengan data yang dicerap. Analisis regresi yang telah dibuat mendapati Model Drake merupakan model yang terbaik untuk hubungan laju perjalanan dengan ketumpatan dalam unit kereta penumpang. Pekali ukp yang telah digunakan untuk kajian ini terdapat dalam Jadual 2. Nilai pekali penentuan berganda ( $R^2$ ) terubahsuai yang diperoleh adalah rendah disebabkan oleh aliran lalu lintas di jalan arteri terganggu akibat arahan berhenti di persimpangan berlampu isyarat dan aktiviti guna tanah di sekitar jalan tersebut.

Hubungan masa perjalanan dan ketumpatan yang menggunakan Model Underwood telah digunakan untuk mendapatkan nilai pekali penentuan berganda ( $R^2$ ) terubahsuai yang lebih baik. Persamaan ini memerlukan data

**Jadual 1.** Kapasiti jalan di Malaysia (Perunding Lee & Rakan et al. 1996)

Jenis Jalan	Kapasiti (ukp/jam/lorong)
Lebuhraya PLUS (4-6 lorong)	2100
Jalan 4-lorong, 2-arah, ada pembahagi jalan	1900
Jalan 2 lorong, 2 arah, tiada pembahagi jalan	3000 (untuk kedua-dua arah)

**Jadual 2.** Pekali ukp yang digunakan untuk kajian di Singapura (Lum et al. 1998)

Jenis Kenderaan	Pekali ukp
Kereta	1.00
Motosikal	0.68
Kenderaan ringan	1.45
Kenderaan berat	1.56
Bas	1.87

**Jadual 3.** Jenis jalan arteri dan kapasiti di Singapura (Lum et al. 1998)

Jenis Jalan Arteri	Kapasiti (ukp/jam/lorong)
Jalan jejarian	875
Jalan lingkaran	910
Keseluruhan jenis	890

masa berhenti minimum per kilometer sewaktu aliran bebas dan bilangan persimpangan berlampu isyarat per kilometer. Keputusan menunjukkan pekali penentuan berganda ( $R^2$ ) terubahsuai untuk hubungan masa perjalanan dan ketumpatan adalah lebih baik berbanding dengan laju perjalanan dan ketumpatan. Akhir sekali, lengkung laju-aliran berjaya diperoleh daripada hubungan masa perjalanan dengan ketumpatan. Jadual 3 menunjukkan nilai kapasiti berdasarkan jenis jalan arteri di Singapura apabila nilai aliran lalu lintas di sesebuah jalan arteri diketahui.

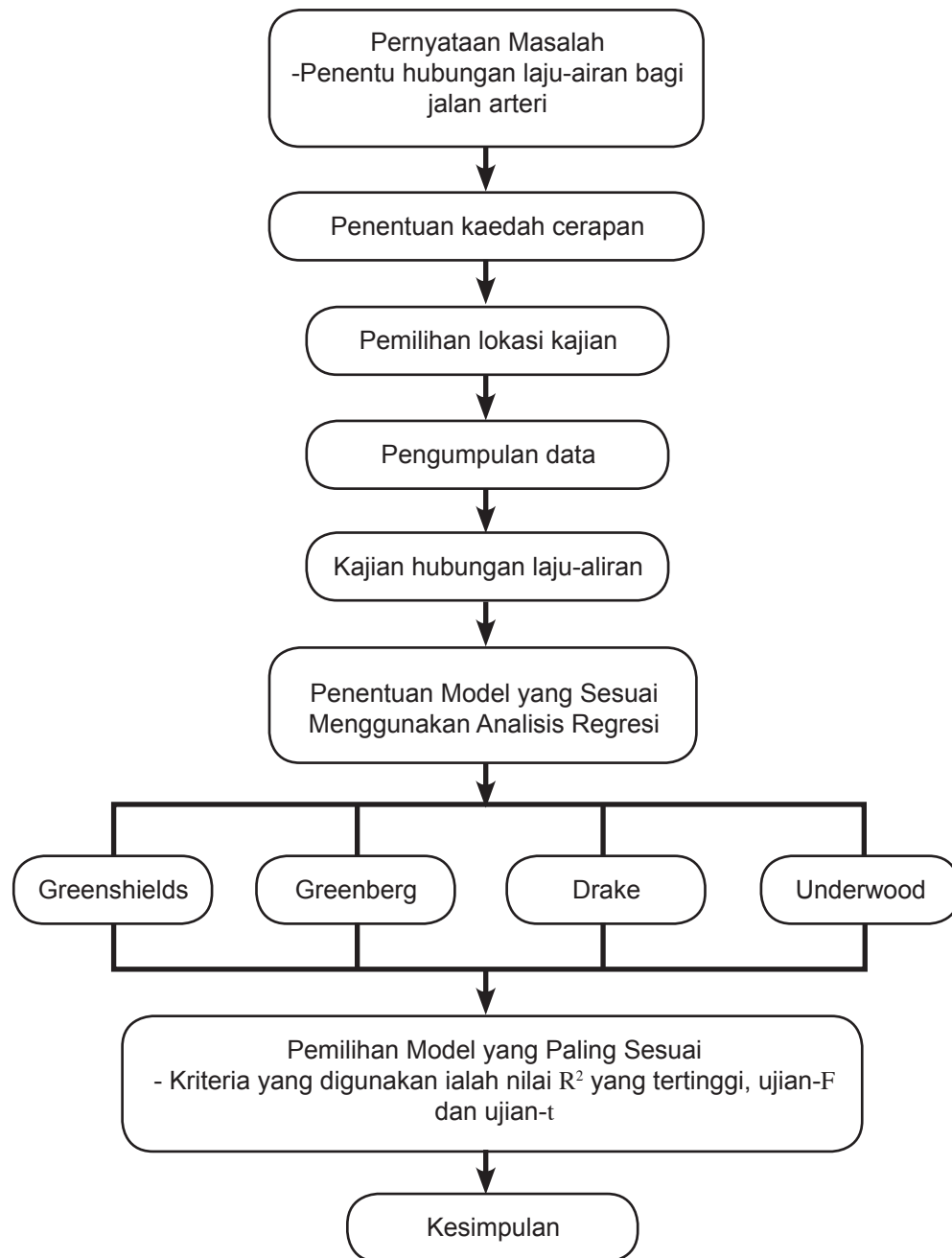
### METODOLOGI KAJIAN

Metodologi kajian adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 1 yang memberikan pernyataan masalah untuk kajian ini. Seterusnya penentuan kaedah cerapan dan pemilihan lokasi kajian dibuat. Pengumpulan data laju dan aliran dibuat

dan analisis regresi turut dibuat untuk mencari model aliran lalu lintas sedia ada yang terbaik untuk data di Malaysia.

Hubungan laju-aliran merupakan suatu yang penting dalam bahagian pemodelan dan perancangan lalu lintas. Secara khususnya, laju perjalanan di jalan arteri dapat diramalkan dengan menggunakan hubungan laju-aliran.

Dalam kajian ini, dua kaedah utama telah dikenalpasti bagi menentukan laju perjalanan. Kaedah-kaedah tersebut ialah kaedah pemerhati bergerak dan kaedah mengekori kereta. Kaedah yang digunakan ialah kaedah mengekori kereta. Dalam kaedah ini, antara prinsip utama yang digunakan ialah mendapatkan laju kereta lain yang menggunakan jalan tersebut dengan mengekori rapat kereta tersebut. Menurut Edie (1974), kaedah ini sesuai digunakan di tempat yang mempunyai isipadu lalu lintas yang tinggi. Didapati kaedah ini telah banyak digunakan

**Rajah 1.** Carta alir metodologi kajian

untuk tujuan analisis aliran lalu lintas dan juga untuk pembangunan model laju-aliran lalu lintas (Ardekani & Herman 1985, Olszewski et al. 1995 dan Lum et al. 1998). Kajian telah dijalankan dengan menggunakan kaedah ini dan dibincangkan secara terperinci dalam bahagian cerapan data.

Pada mulanya, kajian telah dimulakan dengan kaedah pemerhati bergerak. Melalui kaedah ini, data laju dan aliran boleh didapati dengan kos yang minimum. Cerapan aliran lalu lintas tidak perlu dibuat di luar kereta ujian. Bilangan pemerhati seramai 3 orang sudah membolehkan data laju dan aliran lalu lintas dicerap. Kaedah pemerhati bergerak ini telah digunakan dengan jayanya di United Kingdom dan telah terbukti dengan terhasilnya lengkung laju-aliran *COBA9* (Hall & Montgomery 1993). Walau bagaimanapun, kaedah pemerhati bergerak didapati tidak sesuai dalam siri kajian ini dan telah ditukar kepada kaedah mengekori kereta. Keputusan kajian yang dibuat di Jalan Ayer Keroh (Ghani et al. 2004) juga telah menunjukkan hubungan laju dengan ketumpatan menggunakan kaedah mengekori kereta adalah lebih baik daripada kaedah pemerhati bergerak.

Lokasi kajian adalah jalan arteri di bandar atau di pinggir bandar. Setiap jalan arteri juga perlu mempunyai persimpangan berlampu isyarat dan tidak berlampu isyarat. Setiap panjang jalan arteri adalah praktikal untuk kajian iaitu tidak terlalu panjang dan tidak pula terlalu pendek jaraknya (0.6 km hingga 5.7 km).

Model Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake digunakan untuk analisis aliran lalu lintas kajian ini. Model-model aliran lalu lintas ini memerlukan nilai laju aliran bebas ( $v_f$ ), laju optimum ( $v_o$ ), ketumpatan sesak ( $D_j$ ) dan ketumpatan optimum ( $D_o$ ) untuk menyelesaikan persamaan-persamaannya. Nilai laju, aliran dan ketumpatan lalu lintas di lapangan perlu dicerap untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut. Dalam kajian ini, terdapat tiga jenis data yang perlu dicerap di lapangan. Data yang ingin dicerap ialah laju, aliran lalu lintas dan laju aliran bebas. Data laju yang dicerap adalah merujuk kepada laju min ruang. Laju min ruang adalah suatu jarak yang diketahui jaraknya dibahagikan dengan masa perjalanan yang dilalui (Robertson et al. 1994).

Oleh itu, data masa perjalanan perlu dicerap dengan menggunakan kaedah mengekori kereta untuk mendapatkan nilai laju. Aliran

lalu lintas pula dicerap dengan menggunakan kamera video. Laju aliran bebas dicerap dengan menggunakan alat TDC-8. Alat ini sebenarnya mengukur masa sesuatu kenderaan melalui sesuatu jarak yang diketahui. Pemerhati akan menekan butang apabila kenderaan tersebut melalui titik mula dan menekan butang yang lain apabila kenderaan tersebut melepasi titik akhir yang diketahui jarak antara titik tersebut. Menurut glosari *Highway Capacity Manual* (1994), laju aliran bebas didefinisikan sebagai laju teori untuk lalu lintas di mana ketumpatan lalu lintas adalah sifar dan keadaan ini secara praktikalnya tidak akan wujud. Kepentingan untuk mengetahui nilai laju aliran bebas merupakan titik permulaan untuk membuat analisis kapasiti dan tahap perkhidmatan di bawah keadaan aliran tak terganggu. Menurut Robertson et al. (1994), laju aliran bebas perlu dicerap ketika waktu bukan puncak. Semua kaedah cerapan data dinyatakan secara terperinci dalam bahagian cerapan data.

Sebanyak empat model laju-aliran lalu lintas yang utama telah dikenalpasti untuk digunakan dalam kajian ini. Pada asalnya, semua model laju-aliran ini diperolehi melalui kajian di lapangan yang telah dijalankan pada jalan bukan arteri. Walau bagaimanapun, Williams et al. (1987) telah membuktikan bahawa model-model tersebut boleh digunakan dalam simulasi rangkaian sistem jalan arteri. Oleh itu, model aliran lalu lintas Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake boleh digunakan untuk pemodelan aliran lalu lintas bagi jalan arteri. Sebagai contoh, kajian di Singapura turut menggunakan Model Drake dalam penghasilan lengkung laju-aliran untuk jalan arteri (Lum et al. 1998; Olszewski et al. 1995).

Data hubungan laju-aliran adalah tidak sekata dan tidak mempunyai bentuk jika dibandingkan dengan data hubungan laju-ketumpatan yang lebih sekata dan mempunyai bentuk kekacang yang lebih jelas (Duncan 1976). Data hubungan laju-ketumpatan yang diperolehi adalah lebih seragam dan seterusnya membolehkan garisan antara laju dan ketumpatan diplotkan. Oleh itu, hubungan antara laju dan ketumpatan perlu dibuat terlebih dahulu berbanding dengan hubungan laju-aliran lalu lintas. Data laju, aliran dan ketumpatan lalu lintas yang dicerap di Malaysia kemudiannya digunakan dalam model aliran lalu lintas yang sedia ada.

Analisis regresi linear berganda telah digunakan dalam menentukan model yang



terbaik. Kesemua ini ditunjukkan dalam bahagian keputusan untuk setiap model aliran lalu lintas. Nilai pekali penentuan berganda ( $R^2$ ) yang tertinggi dalam hubungan laju-ketumpatan lalu lintas, ujian- $F$  dan ujian- $t$  diambil kira dalam pemilihan model.

### CERAPAN DATA

Pada umumnya, kajian ini merupakan kajian secara cerapan di lapangan. Oleh itu, kajian ini perlu dilakukan dalam keadaan aliran lalu lintas yang normal. Aliran lalu lintas normal bermaksud keadaan biasa bagi sesuatu aliran lalu lintas di tempat tersebut. Aliran lalu lintas yang normal juga berlaku dengan anggapan keadaan turapan jalan yang baik, tiada kemalangan jalan raya dan dalam keadaan cuaca yang baik (Highway Capacity Manual 2000). Kajian perlu dielakkan di lokasi yang mempunyai kerja pembaikan atau penyelenggaraan jalan secara besar-besaran (Lum et al. 1998). Jadual 4 menunjukkan lokasi-

lokasi kajian tersebut dan tarikh data dicerap.

Daripada Jadual 4, sebanyak 22 jalan arteri telah dijadikan sebagai kawasan kajian. Lokasi kajian merangkumi kawasan Kuala Lumpur (11 jalan arteri), Seremban (5 jalan arteri), Melaka (3 jalan arteri), Ipoh (1 jalan arteri) serta Seberang Perai (2 jalan arteri) dan semua data telah dicerap di antara bulan Oktober 2001 sehingga bulan Ogos 2002.

Masa Perjalanan diperoleh melalui kaedah mengekori kereta. Kereta ujian yang dipandu telah mengekori kereta lain yang dipilih secara rawak dalam jarak selamat. Jarak selamat ditakrifkan sebagai jarak di antara dua buah kereta yang mengekori dan pemandu tersebut dapat bertindak balas terhadap perlakuan kereta di hadapan tanpa mengakibatkan kemalangan langgar belakang. Jarak selamat adalah bergantung kepada kelajuan kereta yang dipandu dan juga keadaan jalan serta pemandu kereta ujian tersebut. Walau bagaimanapun,

**Jadual 4.** Lokasi kajian dan tarikh cerapan data

No. Lokasi Kajian	Nama Jalan	Negeri	Tarikh Kajian
KL001	Jln Cheras	K. Lumpur	8-Jul-2002
KL002	Jln Gombak	K. Lumpur	9-Jul-2002
KL003	Jln Genting Klang	K. Lumpur	9-Jul-2002
KL004	Jln Tunku Abd. Rahman - Raja Laut - Jln Ipoh	K. Lumpur	9-Jul-2002
KL005	Jln Ampang	K. Lumpur	10-Jul-2002
KL006	Jln Kg Pandan - Jln Perkasa (Maluri)	K. Lumpur	10-Jul-2002
KL007	Jln Kg Pandan	K. Lumpur	10-Jul-2002
KL008	Jln Yaacob Latif - Bdr Tun Razak	K. Lumpur	11-Jul-2002
KL009	Jln Seri Petaling - Bukit Jalil – KSN	K. Lumpur	11-Jul-2002
KL010	Jln Klang Lama-Plaza OUG	K. Lumpur	11-Jul-2002
KL011	Jln Semarak-Jln Raja Muda Abd Aziz	K. Lumpur	12-Jul-2002
PEN002	Jln Persekutuan 1 (Jawi - Sg Bakap)	P. Pinang	19-Feb-2002
PEN003	Jln Chain Ferry	P. Pinang	2-Apr-2002
PRK002	Jln Leong Boon Swee, Medan Kidd, Ipoh	Perak	2-Oct-2001
MLK002	Jln Semabok - Jln Laksamana Cheng Ho - Jln Munshi Abdullah	Melaka	28-Aug-2002
MLK003	Jln Batu Berendam - Jln Mufti Hj Khalil	Melaka	29-Aug-2002
MLK004	Jln Ayer Keroh – Melaka	Melaka	29-Aug-2002
NS001	Jln Kapitan Tan Yeong - Jln Yam Tuan, Jln Dato' Bandar Tunggal	N. Sembilan	26-Aug-2002
NS002	Jln Ampangan (Seremban - Kuala Pilah)	N. Sembilan	27-Aug-2002
NS003	Jln Seremban – Senawang	N. Sembilan	27-Aug-2002
NS004	Jln Rasah (Seremban - Port Dickson)	N. Sembilan	27-Aug-2002
NS005	Jln Sungai Ujong	N. Sembilan	28-Aug-2002

menurut teori mengekori kereta, sesebuah kereta akan terpengaruh dengan kereta di hadapannya apabila jarak kepala antara dua buah kereta tersebut adalah 6 saat (Salter 1989). Oleh itu, pemandu kereta ujian perlu memastikan jaraknya dengan kereta yang diekori adalah 6 saat (jarak kepala) atau kurang.

Dalam kaedah mengekori kereta, sebuah kereta lain akan dijadikan sasaran dan pemandu kereta ujian akan mengekori kereta tersebut. Sekiranya kereta yang diekori ini membelok ke jalan lain, kereta yang lain pula akan dipilih. Sewaktu kajian dijalankan, pemandu kereta ujian harus menghindari daripada mengekori kenderaan berat dan pengangkutan awam. Antara data yang perlu diperolehi ialah jarak antara titik mula dengan titik akhir jalan arteri tersebut. Seorang pemerhati diperlukan untuk mencatatkan masa mula, masa berhenti dan masa akhir sewaktu kajian dijalankan. Pemerhati juga perlu mencatatkan masa apabila kereta ujian melintasi titik kawalan untuk setiap zon. Dua buah jam randik telah digunakan untuk merekodkan masa mula/akhir kajian dan masa berhenti.

Kamera video telah digunakan untuk mendapatkan aliran lalu lintas untuk kedua-dua arah pada setiap zon. Individu yang berada di lapangan akan memastikan kamera video berfungsi dengan baik dan tempat yang sesuai serta selamat selalunya akan menjadi lokasi pilihan. Tempat yang tinggi seperti jejantas lintasan pejalan kaki akan memberikan fokus yang baik untuk mendapatkan aliran lalu lintas untuk kedua-dua arah dan kamera video yang dipasang tidak dapat dilihat oleh pemandu. Pengkaji perlu memastikan kamera video tidak dapat dilihat oleh pengguna jalan raya supaya tabiat pemanduan yang normal dapat dikekalkan. Pengkelasan kenderaan telah dibuat dan setiap kelas kenderaan telah ditukarkan kepada pekali unit kereta penumpang (ukp). Pengkelasan kenderaan telah dibuat seperti ditunjukkan dalam Jadual 5.

Jadual 6 menunjukkan nilai pekali ukp yang telah digunakan untuk setiap kelas kenderaan. Nilai pekali ukp ini adalah untuk reka bentuk lampu isyarat kerana kenderaan di jalan arteri selalunya akan terpengaruh dengan kesan lampu isyarat.

**Jadual 5.** Pengkelasan kenderaan untuk pengiraan kenderaan secara manual  
(Perunding Lee & Rakan et al. 1996)

No. Pengkelasan	Kelas Kenderaan	Jenis Kenderaan
1	Kenderaan ringan	Kereta, Teksi, Van, MPV, Pacuan Empat Roda
2	Kenderaan Sederhana Berat	Lori Sederhana Berat, Van Barang (2 gandar)
3	Lori	Lori Berat, Treiler (3 gandar atau lebih)
4	Bas	Bas panjang, Bas Mini
5	Motosikal	Motosikal, Skuter

**Jadual 6.** Nilai pekali unit kereta penumpang untuk setiap kelas kenderaan (JKR 1986)

No. Kenderaan	Kelas Kenderaan	Pekali ukp
1	Kenderaan ringan	1.00
2	Kenderaan Sederhana Berat	1.75
3	Lori	2.25
4	Bas	2.25
5	Motosikal	0.33



Laju aliran bebas perlu dicerap ketika aliran lalu lintas pada waktu bukan puncak. Pada ketika ini, para pemandu di jalan tersebut boleh memandu mengikut kelajuan yang diingini tanpa dipengaruhi oleh kenderaan lain. Lokasi yang dipilih untuk mencerap laju aliran bebas perlulah terletak jauh daripada persimpangan berlampu isyarat. Di lokasi ini, pemandu dianggap telah mencapai kelajuan yang diingini dan tidak terpengaruh dengan kesan lampu isyarat. Hanya kereta yang lajunya tidak dipengaruhi oleh laju kenderaan lain yang dicerap di dalam kajian ini. Menurut suatu kajian di Indonesia, sebuah kenderaan didefinisikan berada dalam keadaan laju aliran bebas apabila jarak bumper hadapan kenderaan itu dengan bumper belakang kereta hadapan adalah 10 saat (jarak kepala) dan jarak bumper belakang kenderaan itu dengan bumper depan kereta di belakangnya adalah 5 saat (jarak kepala) (Marler et al. 1994). Menurut Perunding Lee & Rakan et al. (1996) pula, laju aliran bebas berlaku apabila jarak kepala kenderaan dengan kenderaan di hadapan adalah melebihi 8 saat dan tiada kenderaan yang datang dari arah berlawanan. Dalam kajian ini, kereta yang tiada kenderaan lain berada di hadapannya dan dipandu dengan laju melalui pemerhatian secara kasar dianggap berada dalam keadaan laju aliran bebas.

### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Bahagian ini membincangkan tentang hubungan laju-ketumpatan dan laju-aliran untuk semua jenis model. Keputusan ujian statistik turut diberikan. Akhir sekali, nilai laju aliran bebas yang dicerap di lapangan dan yang diramalkan oleh setiap model turut dibincangkan.

Model Greenshields merupakan satu-satunya model yang menyatakan hubungan di antara laju dan ketumpatan adalah linear. Persamaan (2) telah menunjukkan hubungan antara laju dan ketumpatan untuk Model Greenshields. Nilai

laju aliran bebas,  $v_f$  dan ketumpatan sesak,  $D_j$  perlu diperoleh supaya persamaan (2) tersebut boleh digunakan. Oleh itu, analisis regresi kuasa dua terkecil menggunakan kaedah anggaran lengkung telah dibuat untuk mendapatkan nilai  $v_f$  dan  $D_j$ . Pembolehubah untuk paksi-y dan paksi-x ditentukan berdasarkan Model Greenshields. Jadual 7 menunjukkan keputusan analisis regresi anggaran lengkung.

Daripada Jadual 7, nilai  $b0$  adalah bersamaan dengan nilai  $v_f$  dan nilai  $b1$  adalah bersamaan dengan  $v_f/D_j$ . Persamaan (8) terbentuk apabila nilai  $v_f$  dan nilai  $v_f/D_j$  dimasukkan ke dalam persamaan (2).

$$v = 52.9 - 0.508D \quad (8)$$

Dengan menggunakan data laju dan aliran lalu lintas yang dicerap, lengkung laju-aliran dapat diplotkan seperti Rajah 2. Daripada rajah ini, didapati nilai  $Q_{maks}$  adalah 1380 ukp/jam/lorong. Berbeza dengan Model Greenshields, Model Greenberg tidak menggunakan hubungan linear antara laju dan ketumpatan. Model Greenberg menganggap bahawa hubungan antara dua parameter utama, iaitu laju dan ketumpatan boleh dimodelkan melalui persamaan logaritma. Persamaan (3) telah menunjukkan hubungan antara laju dan ketumpatan untuk Model Greenberg. Nilai laju optimum,  $v_o$  dan ketumpatan sesak,  $D_j$  perlu diperoleh supaya persamaan (3) tersebut boleh digunakan. Oleh itu, analisis regresi kuasa dua terkecil menggunakan kaedah anggaran lengkung telah dibuat dan seterusnya nilai  $v_o$  serta  $D_j$  diperoleh. Pembolehubah untuk paksi-y dan paksi-x ditentukan berdasarkan Model Greenberg. Jadual 8 menunjukkan keputusan analisis regresi anggaran lengkung.

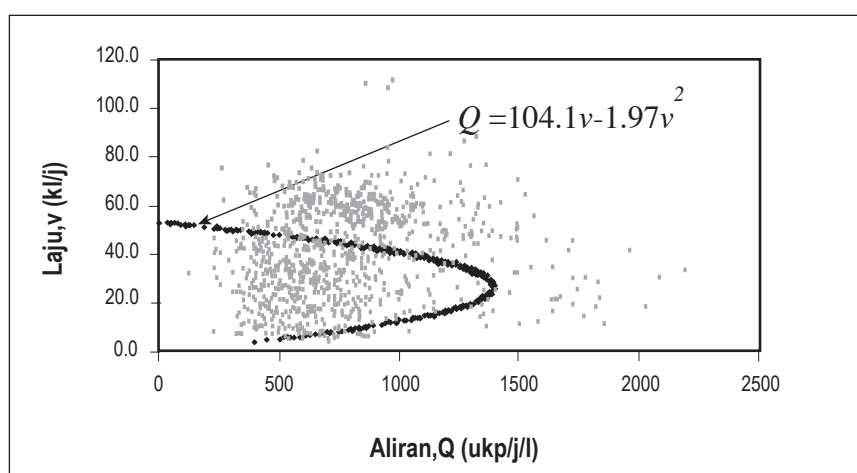
Daripada Jadual 8, nilai  $b0$  adalah bersamaan dengan nilai  $v_o \ln D_j$  dan nilai  $b1$  adalah bersamaan dengan  $-v_o$ . Persamaan (9) terbentuk apabila nilai  $v_o$  dan nilai  $D_j$  yang diperoleh dimasukkan ke

**Jadual 7.** Analisis regresi menggunakan kaedah anggaran lengkung untuk Model Greenshields

Model	Jenis persamaan	Bentuk persamaan	Nilai $b0$	Nilai $b1$
Greenshields	linear	$v = b0 + b1 * D$	52.9111	-0.5078

Pembolehubah bersandar (paksi-y) =  $v$

Pembolehubah tidak bersandar (paksi-x) =  $D$



**Rajah 2.** Hubungan laju-aliran menggunakan Model Greenshields

**Jadual 8.** Analisis regresi menggunakan kaedah anggaran lengkung untuk Model Greenberg

Model	Jenis persamaan	Bentuk persamaan	Nilai $b_0$	Nilai $b_1$
Greenshields	logaritma	$v = b_0 + (b_1 * \ln D)$	103.443	-21.160

Pembolehubah bersandar (paksi-y) =  $v$

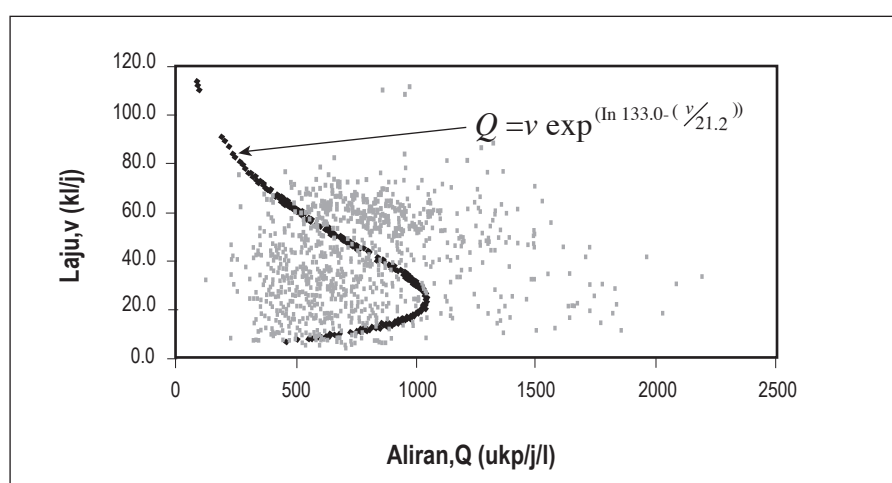
Pembolehubah tidak bersandar (paksi-x) =  $\ln D$

dalam persamaan (3).

$$v = 21.2 \ln \left( \frac{133.0}{D} \right) \quad (9)$$

Dengan menggunakan data laju dan aliran lalu lintas yang dicerap, lengkung laju-aliran dapat diplotkan seperti Rajah 3. Daripada rajah ini, didapati nilai  $Q_{maks}$  adalah 1040 ukp/jam/lorong.

Untuk Model Underwood, kajian mendapati nilai laju aliran bebas,  $v_f$  dan ketumpatan optimum,  $D_o$  masing-masing adalah 57.0 km/jam dan 51.0 ukp/km/lorong. Nilai-nilai ini diperoleh melalui analisis regresi kuasa dua terkecil menggunakan kaedah anggaran lengkung. Jadual 9 menunjukkan keputusan analisis regresi anggaran lengkung. Pembolehubah untuk paksi-y dan paksi-x ditentukan berdasarkan Model Underwood.



**Rajah 3.** Hubungan laju-aliran menggunakan Model Greenberg

Daripada Jadual 9, nilai  $b0$  adalah bersamaan dengan nilai  $v_f$  dan nilai  $b1$  adalah bersamaan dengan  $\frac{-1}{D_o}$ . Persamaan (10) terbentuk apabila nilai  $v_f$  dan nilai  $D_o$  yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan (4).

$$v = 57.0 \exp\left(\frac{-D}{51.0}\right) \quad (10)$$

Dengan menggunakan data laju dan aliran lalu lintas yang dicerap, lengkung laju-aliran dapat diplotkan seperti Rajah 4. Daripada rajah ini, didapati nilai  $Q_{maks}$  adalah 1070 ukp/jam/lorong.

Persamaan (5) menunjukkan hubungan antara laju dan ketumpatan untuk Model Drake. Nilai laju aliran bebas,  $v_f$  dan ketumpatan optimum,  $D_o$  perlu diperoleh supaya persamaan (5) tersebut boleh digunakan. Oleh itu, analisis regresi kuasa dua terkecil menggunakan kaedah anggaran lengkung telah dibuat untuk mendapatkan nilai  $v_f$  dan  $D_o$ . Pembolehubah untuk paksi-y dan paksi-x ditentukan berdasarkan Model Drake.

Jadual 10 menunjukkan keputusan analisis regresi anggaran lengkung.

Daripada Jadual 10, nilai  $b0$  adalah bersamaan dengan nilai  $v_f$  dan nilai  $b1$  adalah bersamaan dengan  $-0.5 \left(\frac{1}{D_o}\right)^2$ . Persamaan (11) terbentuk apabila nilai  $v_f$  dan nilai  $D_o$  dimasukkan ke dalam persamaan (5).

$$v = 39.7 \exp^{-\frac{1}{2} \left(\frac{D}{62.7}\right)^2} \quad (11)$$

Dengan menggunakan data laju dan aliran lalu lintas yang dicerap, lengkung laju-aliran dapat diplotkan seperti Rajah 5. Daripada rajah ini, didapati nilai  $Q_{maks}$  adalah 1510 ukp/jam/lorong.

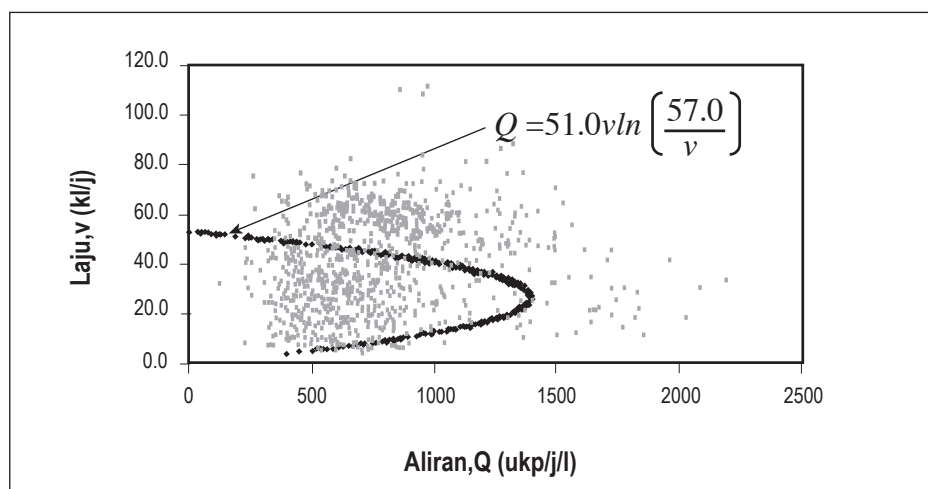
Merujuk kepada Rajah 2, Rajah 3, Rajah 4 dan Rajah 5 menunjukkan data laju dan aliran lalu lintas yang dicerap di lapangan dan graf yang diplot adalah berdasarkan kepada model aliran lalu lintas yang telah dibincangkan.

**Jadual 9.** Analisis regresi menggunakan kaedah anggaran lengkung untuk Model Underwood

Model	Jenis persamaan	Bentuk persamaan	Nilai $b0$	Nilai $b1$
Underwood	eksponen	$v = b0 \exp^{(b1 \times D)}$	57.0224	-0.0196

Pembolehubah bersandar (paksi-y) =  $v$

Pembolehubah tidak bersandar (paksi-x) =  $D$

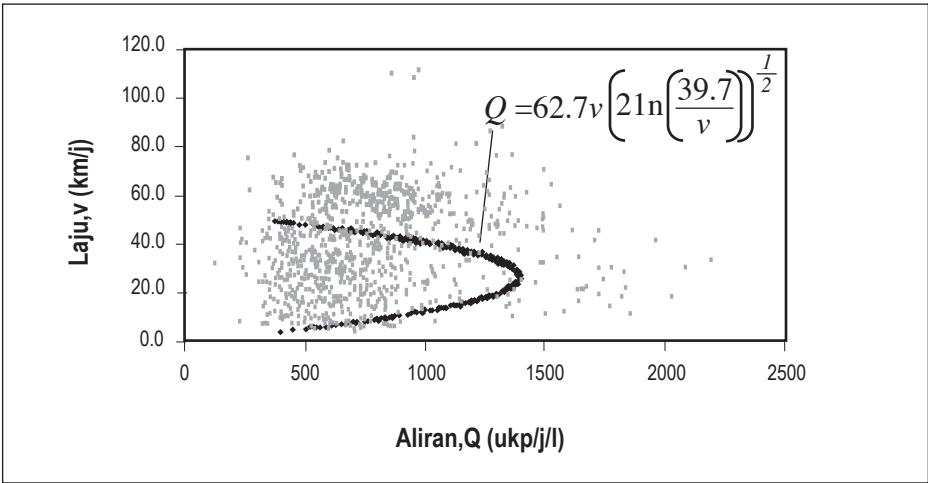


**Rajah 4.** Hubungan laju-aliran menggunakan Model Underwood

**Jadual 10.** Analisis regresi menggunakan kaedah anggaran lengkung untuk Model Drake

Model	Jenis persamaan	Bentuk persamaan	Nilai <i>b0</i>	Nilai <i>b1</i>
Underwood	Eksponen	$v = b0exp^{(b1 \times D^2)}$	39.6907	-0.000127

Pembolehubah bersandar (paksi-y) = *v*  
Pembolehubah tidak bersandar (paksi-x) = *D*<sup>2</sup>



**Rajah 5.** Hubungan laju-aliran menggunakan Model Drake

**Jadual 11.** Nilai *R*<sup>2</sup> untuk hubungan laju-ketumpatan Model Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake

Model	<i>R</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>R</i> <sup>2</sup> terubahsuai	Ralat Piawai untuk anggaran
Greenshields	0.653	0.426	0.425	14.439
Greenberg	0.751	0.565	0.564	12.578
Underwood	0.783	0.613	0.612	0.3815
Drake	0.643	0.413	0.413	0.4694

Nilai pekali penentuan berganda (*R*<sup>2</sup>) untuk hubungan laju-ketumpatan bagi Model Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 11.

Jadual 12 menunjukkan *ANOVA* dan ujian-*F* untuk semua model. Keputusan ujian-*F* menunjukkan nilai *p* = 0.000 dan nilai ini adalah kurang daripada 0.05. Ini menunjukkan semua model boleh digunakan untuk analisis data laju, aliran dan ketumpatan. Jadual 13 pula menunjukkan keputusan ujian-*t* untuk semua model. Nilai *p* yang diperolehi adalah 0.000 dan ini juga menunjukkan semua model boleh digunakan untuk analisis data laju, aliran dan ketumpatan.

Kesemua model ini telah meramalkan nilai laju aliran bebas kecuali Model Greenberg. Ujian statistik (ujian-*F* dan ujian-*t*) yang telah dijalankan menunjukkan kesemua model boleh digunakan untuk mengkaji hubungan laju-ketumpatan dan seterusnya hubungan laju-aliran. Walau bagaimanapun, nilai pekali penentuan berganda (*R*<sup>2</sup>) yang tertinggi telah diambil kira dalam pemilihan model yang terbaik. Nilai pekali penentuan berganda (*R*<sup>2</sup>) yang didapati adalah agak rendah untuk kesemua model disebabkan kombinasi banyak lokasi kajian yang berbeza ciri persekitarannya. Keputusan kajian di Singapura (Lum et al. 1998) juga menunjukkan nilai pekali penentuan berganda (*R*<sup>2</sup>) untuk hubungan laju-ketumpatan di semua jalan arterinya adalah

**Jadual 12.** Keputusan ujian-F untuk semua model

Model		Hasil tambah kuasa dua	Darjah kebebasan	Min kuasa dua	F	Sig. (p)
Greenshields	Regresi	134985.795	1	134985.795	647.492	.000
	Residual	181790.094	872	208.475		
	Jumlah	316775.889	873			
Greenberg	Regresi	178830.00	1	178830.00	1130.441	.000
	Residual	137945.89	872	158.19		
	Jumlah	316775.89	873			
Underwood	Regresi	200.635	1	200.635	1378.384	.000
	Residual	126.927	872	0.146		
	Jumlah	327.562	873			
Drake	Regresi	135.442	1	135.442	614.751	.000
	Residual	192.119	872	0.220		
	Jumlah	327.561	873			

**Jadual 13.** Keputusan ujian-t untuk semua model

Model		Pekali tidak Piawai		Pekali Piawai	t	Sig. (p)
		B	Ralat Piawai	Beta		
Greenshields	(angkatap)	52.911	0.730	-0.653	72.513	.000
	DENSITY	-0.508	0.020		-25.446	.000
Greenberg	(angkatap)	103.443	1.960	-0.751	52.778	.000
	ln DENSITY	-21.160	0.629		-33.622	.000
Underwood	(angkatap)	57.0224	1.0994	-0.782	51.865	.000
	DENSITY	-0.0196	0.0005		-37.127	.000
Drake	(angkatap)	39.6907	0.6861	-0.643	57.849	.000
	DENSITY <sup>2</sup>	-0.000127	0.000005		-24.794	.000

0.537. Nilai  $Q_{maks}$  dan  $v_f$  yang diramalkan oleh setiap model juga adalah berbeza disebabkan bentuk persamaan yang berbeza dan Drake et al. (1967) turut membuktikan perkara yang sama dalam kajiannya.

Bahagian seterusnya membincangkan tentang perbezaan nilai laju aliran bebas yang dicerap di lapangan dengan nilai laju aliran bebas yang dianggarkan oleh model-model laju-aliran lalu lintas. Jadual 14 menunjukkan nilai laju aliran bebas yang telah diperhatikan. Didapati juga nilai had laju yang ditetapkan di semua lokasi kajian ini adalah 50 km/jam dan 60 km/jam.

Tidak semua lokasi kajian mempunyai data laju aliran bebas. Hanya 14 lokasi kajian yang mempunyai nilai cerapan laju aliran bebas di lapangan. Ini disebabkan data laju aliran bebas perlu dicerap ketika isipadu aliran lalu lintas yang rendah dan kedudukannya yang tidak dipengaruhi oleh kesan lampu isyarat. Daripada

Jadual 14, didapati nilai laju min adalah lebih tinggi berbanding dengan nilai laju median kecuali di Jln. Kg. Pandan.

Nilai laju min diambil kira untuk tujuan analisis laju aliran bebas. Laju min juga merupakan suatu pengukur yang efisien untuk mengukur nilai purata sesuatu populasi dari segi statistik (Robertson et al. 1994). Merujuk kepada Jadual 14, nilai min laju aliran bebas didapati berjulat di antara 47.7 km/jam sehingga 95.3 km/jam. Didapati laju aliran bebas di Jln. Sg. Ujong, Seremban adalah paling tinggi. Ini disebabkan oleh lokasinya yang berhampiran dengan Lebuhraya Utara Selatan (susur keluar Seremban) dan para pemandu di jalan ini baru sahaja melalui lebuhraya yang secara puratanya kenderaan dipandu dengan laju 110 km/jam. Tambahan pula dengan lokasi jalan ini yang menuruni bukit menyebabkan laju aliran bebasnya tinggi. Nilai laju aliran bebas secara purata untuk

**Jadual 14.** Senarai nama jalan dan laju aliran bebas (nilai min, median dan peratusan ke-85)

Nama Jalan	Had Laju (km/jam)	Laju Min Aliran Bebas (km/jam)	Laju Median Aliran Bebas (km/jam)	Laju Peratusan ke-85 Aliran Bebas (km/jam)
Jln. Cheras	60	57.7	55.0	67.0
Jln. Gombak	60	47.7	46.5	57.0
Jln. Genting Klang	60	51.6	49.0	61.0
Jln. Ampang	60	58.5	58.5	71.5
Jln. Kg Pandan – Jln. Perkasa (Maluri)	50	51.6	53.0	69.0
Jln. Kg Pandan	50	51.6	53.0	69.0
Jln. Yaacob Latif – Bdr Tun Razak	50	58.2	55.0	66.5
Jln. Seri Petaling – Bukit Jalil – KSN	60	87.6	85.0	104.0
Jln. Klang Lama – Plaza OUG	60	64.7	64.0	74.0
Jln. Semarak – Jln. Raja Muda Abd Aziz	50	62.8	62.5	75.5
Jln. Batu Berendam – Jln. Mufti Hj Khalil	60	60.1	56.0	74.5
Jln. Ampangan (Seremban – Kuala Pilah)	60	65.7	65.5	76.0
Jln. Seremban – Senawang	60	61.2	58.0	74.0
Jln. Sungai Ujong	60	95.3	94.0	112.0

kesemua lokasi ini adalah 62.5 km/jam. Nilai laju aliran bebas yang telah dianggarkan oleh model-model utama ditunjukkan dalam Jadual 15. Daripada jadual ini, didapati kesemua nilai laju aliran bebas yang dianggarkan oleh model tersebut adalah lebih rendah kecuali Model Greenberg (Terubahsuai). Nilai laju aliran bebas yang dianggarkan oleh Model Greenberg (Terubahsuai) adalah tinggi disebabkan nilai laju tertinggi dalam hubungan laju-ketumpatan telah digunakan sebagai sempadan antara rejim aliran bebas dan rejim sesak.

Jadual 16 yang berikut ini adalah ringkasan terhadap penggunaan keempat-empat model tersebut untuk jalan-jalan arteri di Malaysia.

Keputusan kajian ini menunjukkan Model Underwood adalah model yang terbaik berdasarkan nilai pekali penentuan berganda ( $R^2$ ) untuk hubungan laju-ketumpatan lalu lintas yang tertinggi. Persamaan laju-aliran yang diperolehi ialah:

$$Q = 51.0v \ln \left( \frac{57.0}{v} \right) \quad (12)$$

dengan:

$$\begin{aligned} Q &= \text{aliran lalu lintas (ukp/jam/lorong)} \\ v &= \text{laju (km/jam)} \end{aligned}$$

Keempat-empat model laju-aliran lalu lintas telah digunakan dalam kajian ini. Model-model laju-aliran tersebut ialah Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake. Rajah 6 menunjukkan perhubungan laju-aliran untuk keempat-empat model tersebut.

Daripada Rajah 6, didapati Model Drake meramalkan aliran maksimum,  $Q_{maks}$  yang tertinggi iaitu sebanyak 1510 ukp/jam/lorong manakala Model Greenberg pula meramalkan nilai aliran maksimum,  $Q_{maks}$  yang terendah iaitu 1040 ukp/jam/lorong. Walau bagaimanapun, nilai aliran lalu lintas tertinggi yang diperhatikan di lapangan adalah 2200 ukp/jam/lorong. Jadual 17 menunjukkan nilai laju aliran bebas di lapangan dengan nilai laju aliran bebas yang dianggarkan oleh setiap model. Jadual 17 menunjukkan peratus perbezaan di antara nilai laju aliran bebas di lapangan dengan nilai laju aliran bebas yang diramalkan oleh setiap model. Didapati kesemua model menunjukkan peratus perbezaan yang melebihi 15% kecuali Model Underwood. Keputusan ini menyokong lagi penyataan Model Underwood paling sesuai digunakan untuk keadaan lalu lintas jalan arteri di Malaysia.



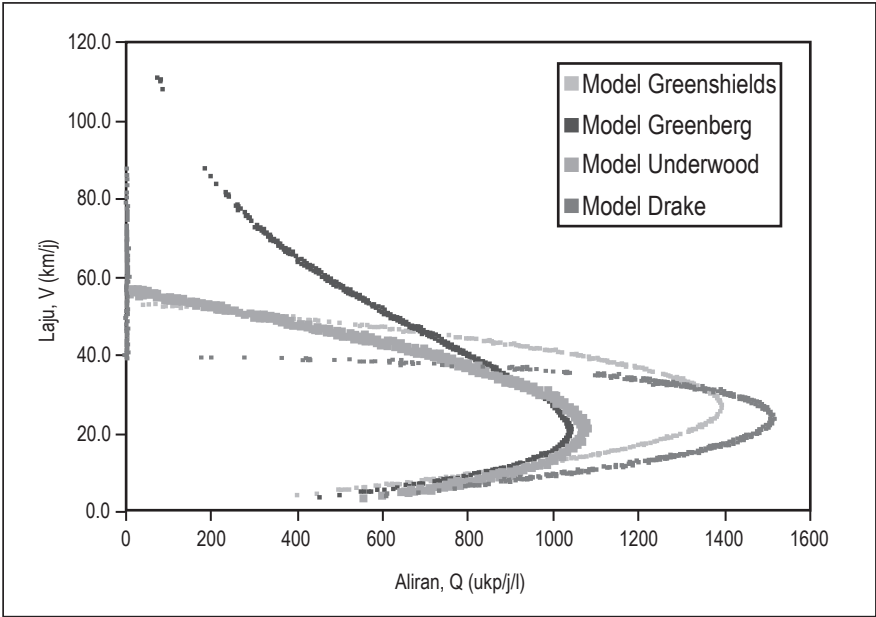
Jadual 15. Nilai laju aliran bebas yang dianggarkan oleh model-model laju-aliran

Model Laju-Aliran	Nilai Laju Aliran Bebas, $v_f$
Greenshields	52.9 km/jam
* Greenberg (Terubahsuai)	76.5 km/jam
Underwood	57.0 km/jam
Drake	39.7 km/jam

\* Model Greenberg yang asal tidak mempunyai nilai laju aliran bebas. Walau bagaimanapun, pengubahsuaian telah dilakukan menurut Edie (1961) untuk mendapatkan nilai laju aliran bebas.

Jadual 16. Nilai-nilai penting untuk setiap model aliran lalu lintas

Model	Persamaan $v$ - $D$	$R^2$	$v_f$ (km/ jam)	$D_j$ (ukp/km/ lorong)	$D_o$ (ukp/km/ lorong)	$v_o$ (km / jam)	$Q_{maks}$ (ukp/jam/ lorong)
Greenshields	$v = 52.9 - 0.508D$	0.43	52.9	104.1	52.1	26.5	1380
Greenberg	$v = 21.2 \ln\left(\frac{133.0}{D}\right)$	0.57	$\infty$	133.0	48.9	21.2	1040
Underwood	$v = 57.0 \exp\left(\frac{-D}{51.0}\right)$	0.61	57.0	$\infty$	51.0	21.0	1070
Drake	$v = 39.7 \exp^{-\frac{1}{4}\left(\frac{D}{62.7}\right)^2}$	0.41	39.7	$\infty$	62.7	24.1	1510



Rajah 6. Graf hubungan laju-aliran untuk Model Greenshields, Greenberg, Underwood dan Drake

**Jadual 17.** Perbandingan nilai laju aliran bebas yang dicerap di lapangan dan nilai laju aliran bebas yang dianggarkan daripada model

Model	$v_f$ yang diperoleh daripada model (km/jam)	$v_f$ di lapangan (km/jam)	% perbezaan
Greenshield	52.9	62.5	15.4
* Greenberg (Terubahsuai)	76.5	62.5	-22.4
Underwood	57.0	62.5	8.8
Drake	39.7	62.5	36.5

\* Model Greenberg yang asal tidak mempunyai nilai laju aliran bebas. Walau bagaimanapun, pengubahsuaian telah dilakukan oleh Edie (1961) untuk mendapatkan nilai laju aliran bebas.

## KESIMPULAN

Kajian telah dijalankan dengan menggunakan kaedah mengekori kereta untuk cerapan data masa perjalanan. Aliran lalu lintas pula dicerap dengan menggunakan kamera video. Kaedah cerapan data yang digunakan dalam kajian ini adalah agak tinggi kosnya dan berisiko tetapi masa pemerhatian yang diperlukan di lapangan adalah agak singkat. Tempoh analisis data masa perjalanan dan aliran lalu lintas juga adalah tidak terlalu lama. Model-model aliran lalu lintas

yang sedia ada boleh digunakan untuk analisis laju-aliran jalan-jalan arteri di Malaysia. Nilai laju aliran bebas yang diperoleh dalam kajian ini adalah berdasarkan kenderaan jenis kereta sahaja. Nilai purata laju aliran bebas berdasarkan pemerhatian di lapangan ialah 62.5 km/jam manakala nilai laju aliran bebas berdasarkan Model Underwood ialah 57.0 km/jam. Didapati perbezaan di antara dua nilai ini adalah kurang daripada 10%.

## RUJUKAN

- Ardekani, S.A., & Herman, R. 1985. A comparison of the quality of traffic service in downtown networks of various cities around the world. *Traffic Engineering and Control* 26(12): 574-581.
- Drake, J. S., Schofer, J. L. & May, A. D. 1967. A Statistical analysis of speed density hypotheses, *Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Sym. on The Theory of Traffic Flow*, New York: Elsevier.
- Duncan, N.C. 1976. A note on speed/flow/concentration relations. *Traffic Engineering and Control* 17(1): 34-35.
- Edie, L.C. 1961. Car-following and steady-state theory for non-congested traffic. *Operations Research*, 9: 66-76.
- Edie, L.C. 1974. *Flow theories*, Traffic Science, New York: John Wiley dan Sons, Inc.
- Ghani, A.R.A., Razzaly, W., Aman, M.Y. & Abdullah, M.E. 2004. Penghasilan lengkung laju-aliran untuk jalan arteri dengan menggunakan kaedah pemerhati bergerak dan kaedah mengekori kereta : kajian kes di Jalan Ayer Keroh, Melaka. *Proc. of Persidangan Kebangsaan AWAM 04*.
- Hall, F.L. & Montgomery, F.O. 1993. Investigation of an alternative interpretation of the speed-flow relationship for UK motorways. *Traffic Engineering and Control* 34(9): 420-425.
- Highway Capacity Manual: special report 209*, 3<sup>rd</sup> Ed. 1994. Transportation Research Board, National Research Council, Washington.
- Highway Capacity Manual* 2000. Transportation Research Board, National Research Council, Washington.
- JKR 1986. Arahan Teknik (Jalan) 8/86: *A Guide on Geometric Design of Roads*, Kuala Lumpur.
- Lum, K. M., Fan, H. S. L., Lam S. H. & Olszewski, P. 1998. Speed-flow modeling of arterial roads in Singapore, *Journal of Transportation Engineering* 124(3): 213-222.

- Marler, N.W., Harahap, G. & Novara, E. 1994. Speed-flow relationship and site friction on Indonesian urban highways, *Proc. of the Second International Symposium on Highway Capacity* 2: 447-456.
- Olszewski, P., Fan, H. S. L. & Tan, Y. W. 1995. Area-wide traffic speed-flow model for the Singapore CBD. *Transportation Research A* 29(4): 273-281.
- Ortuzar, J. D. D. & Willumsen, L.G. 1995. *Modelling transport* Ed. ke-2. Chichester, England: John Wiley dan Sons Ltd.
- Perunding Lee & Rakan, Transportation Research & Engineering Ltd. & Institute for Transport Studies, Leeds University 1996. *Traffic study for Malaysia (TSM) Final Report*, Kuala Lumpur : Highway Planning Unit
- Robertson, H.D., Hummer, J.E. & Nelson, D.C. 1994. *Manual of Transportation Engineering Studies*. New Jersey: Prentice Hall.
- Salter, R. J. 1989. *Traffic engineering worked examples* Ed. ke-2. London: MacMillan Education Ltd.
- Williams, J.C., Mahmassani, H.S. & Herman, R. 1987. Urban traffic network flow models. *Transportation Research Record* 1112: 78-88.